

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Biomassa

Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintetik, baik berupa produk maupun buangan. Contoh biomassa antara lain adalah tanaman, pepohonan, rumput, limbah pertanian, limbah hutan, tinja dan kotoran ternak. Selain digunakan untuk tujuan primer serat, bahan pangan, pakan ternak, minyak nabati, bahan bangunan dan sebagainya, biomassa juga digunakan sebagai sumber energi (bahan bakar). Yang digunakan adalah bahan bakar biomassa yang nilai ekonomisnya rendah atau merupakan limbah setelah diambil produk primernya (Pari dan Hartoyo, 1983).

Menurut Silalahi (2000), biomassa adalah campuran material organik yang kompleks, biasanya terdiri dari karbohidrat, lemak, protein dan mineral lain yang jumlahnya sedikit seperti sodium, fosfor, kalsium dan besi. Komponen utama tanaman biomassa adalah karbohidrat (berat kering $\pm 75\%$), lignin ($\pm 25\%$) dimana dalam beberapa tanaman komposisinya bisa berbeda-beda.

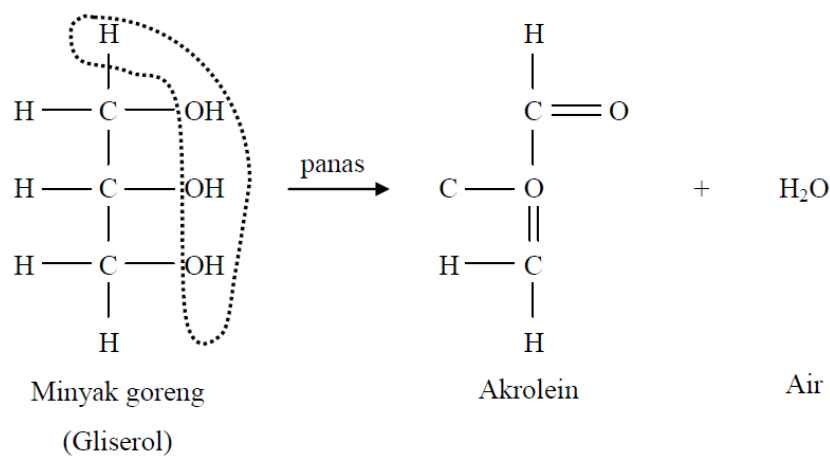
Energi biomassa dapat menjadi sumber energi alternatif pengganti bahan bakar fosil (minyak bumi) karena beberapa sifatnya yang menguntungkan yaitu, dapat dimanfaatkan secara lestari karena sifatnya yang dapat diperbaharui (*renewable resources*), relatif tidak mengandung unsur sulfur sehingga tidak menyebabkan polusi udara dan juga dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya hutan dan pertanian (Widarto dan Suryanta, 1995).

2.1.1. Minyak Jelantah

Minyak jelantah adalah minyak limbah hasil penggorengan yang bisa berasal dari jenis-jenis minyak goreng seperti halnya minyak jagung, minyak sayur, minyak samin dan sebagainya. Minyak ini merupakan minyak bekas pemakaian kebutuhan rumah tangga yang dapat digunakan kembali untuk keperluan kuliner, akan tetapi bila ditinjau dari komposisi kimianya, minyak jelantah mengandung senyawa-senyawa yang bersifat karsinogenik, yang terjadi selama proses penggorengan sehingga dapat menyebabkan penyakit kanker dalam jangka waktu yang panjang (Tamrin, 2013).

a. Akibat Penggunaan Minyak Jelantah

Menurut Ketaren (2005), tanda awal dari kerusakan minyak goreng adalah terbentuknya akrolein pada minyak goreng. Akrolein ini menyebabkan rasa gatal pada tenggorokan pada saat mengonsumsi makanan yang digoreng menggunakan minyak goreng berulang kali. Akrolein terbentuk dari hidrasi gliserol yang membentuk aldehida tidak jenuh atau akrolein. Skema proses terbentuknya akrolein dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Terbentuknya Akrolein

Minyak goreng sangat mudah untuk mengalami oksidasi. Maka minyak jelantah telah mengalami penguraian molekul-molekul, sehingga titik asapnya turun drastis, dan bila disimpan dapat menyebabkan minyak menjadi berbau tengik. Bau tengik dapat terjadi karena penyimpanan yang salah dalam jangka waktu tertentu menyebabkan pecahnya ikatan trigliserida menjadi gliserol dan *free fatty acid* (FFA) atau asam lemak jenuh. Selain itu, minyak jelantah ini juga sangat disukai oleh jamur aflatoksin. Jamur ini dapat menghasilkan racun aflatoksin yang dapat menyebabkan penyakit pada hati. Akibat dari penggunaan minyak jelantah terjadi kerusakan pada sel hepar (*liver*), jantung, pembuluh darah maupun ginjal. (Ketaren, 2005)

b. Sifat –Sifat Minyak Jelantah

Sifat-sifat minyak jelantah dibagi menjadi sifat fisik dan sifat kimia (Ketaren, 2005) yaitu:

1. Sifat Fisik

- a. Warna, terdiri dari dua golongan: golongan pertama yaitu zat warna alamiah, yaitu secara alamiah terdapat dalam bahan yang mengandung minyak dan ikut terekstrak bersama minyak pada proses ekstraksi. Warna gelap disebabkan oleh proses oksidasi terhadap *tokoferol* (vitamin E), warna coklat disebabkan oleh bahan untuk membuat minyak yang telah busuk atau rusak, warna kuning umumnya terjadi pada minyak tidak jenuh.
- b. *Odor* dan *flavor*, terdapat secara alami dalam minyak dan juga terjadi karena pembentukan asam-asam yang berantai sangat pendek.
- c. Kelarutan, minyak tidak larut dalam air kecuali minyak jarak (*castor oil*), dan minyak sedikit larut dalam alkohol, etil eter, karbon disulfida dan pelarut-pelarut halogen.
- d. Bobot jenis, biasanya ditentukan pada temperature 25°C , dan juga perlu dilakukan pengukuran pada temperature 40°C.
- e. Titik asap, titik nyala dan titik api, dapat dilakukan apabila minyak dipanaskan.
- f. Titik kekeruhan (*turbidity point*), ditetapkan dengan cara mendinginkan campuran minyak dengan pelarut lemak.

2. Sifat Kimia

- a. Hidrolisa, dalam reaksi hidrolisa, minyak akan diubah menjadi asam lemak bebas dan gliserol. Reaksi hidrolisa yang dapat menyebabkan kerusakan minyak atau lemak terjadi karena terdapatnya sejumlah air dalam minyak tersebut.
- b. Oksidasi, proses oksidasi berlangsung bila terjadi kontak antara sejumlah oksigen dengan minyak.

- c. Hidrogenasi, proses hidrogenasi bertujuan untuk menumbuhkan ikatan rangkap dari rantai karbon asam lemak pada minyak.
- d. Esterifikasi, proses esterifikasi bertujuan untuk mengubah asam-asam lemak dari trigliserida dalam bentuk ester.

Sifat-sifat minyak jelantah secara sederhana dapat ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat Fisik dan Kimia Minyak Jelantah

Sifat Fisik Minyak Jelantah	Sifat Kimia Minyak Jelantah
Warna coklat kekuning – kuningan	Hidrolisa, minya akan diubah menjadi asam lemak bebas dan gliserol.
Berbau tengik	Proses oksidasi berlangsung bila terjadi kontak antara sejumlah oksigen dengan minyak.
Terdapat endapan	Proses hidrogenasi bertujuan untuk menumbuhkan ikatan rangkap dari rantai karbon asam lemak pada minyak.

Sumber: Geminastiti, 2012

Perbandingan karakteristik minyak goreng dan minyak jelantah ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Karakteristik Minyak Goreng dan Minyak Jelantah

Karakteristik	Minyak Goreng	Minyak Jelantah
Kandungan Asam (mg KOH/gm)	0.3	4.03
Nilai Kalor (J/gm)	-	39658
Nilai Saponifikasi (mg KOH/gm)	194	177.97
Kandungan Peroxida (meq/kg)	<10	10
Densitas (gm/cm ³)	0.898	0.9013
Viskositas Kinematik (mm ² /s)	39.994	44.956
Viskositas Dinamis (mpa.s)	35.92	40.519
Titik Nyala (°C)	161-164	222-224
Kandungan Air (%wt)	0.101	0.14

Sumber: Ullah, Zahoor, dkk. *Characterization of Waste Palm Cooking Oil for Biodiesel*. 2014

Minyak jelantah juga dapat diproses menjadi minyak yang bermutu, misalnya pembuatan biodiesel dari minyak jelantah. Akan tetapi minyak jelantah yang akan diproses untuk pembuatan biodiesel ini harus melalui proses pemurnian yang menggunakan katalis dalam proses esterifikasi dan transesterifikasi (Gareso, 2010).

Pemanfaatan jelantah dapat dilakukan dengan dua cara. Cara yang pertama dengan melakukan beberapa proses pada jelantah tersebut hingga menjadi seperti solar. Misal dengan proses transesterifikasi. Hasilnya, minyak jelantah tersebut dapat digunakan untuk bahan bakar pada metode pembakaran dalam (*internal combustions*) maupun pembakaran luar (*external combustions*). Tetapi, proses tersebut membutuhkan yang relatif cukup lama karena ada tahapan pengendapan, penyaringan dan pencucian. Selain waktunya lama, proses tersebut juga membutuhkan biaya, yaitu untuk aditif dan katalisatornya. Proses ini juga tidak efisien bila volume jelantah hanya dalam skala kecil. Cara kedua adalah dengan memanfaatkannya secara langsung sebagai bahan bakar pembakaran luar. Cara tersebut relatif cukup praktis karena tidak membutuhkan proses yang rumit. Proses yang perlu untuk dilakukan hanyalah penyaringan, sehingga jelantah terbebas dari terak, kotoran ataupun agregat. Pemanfaatan dengan cara ini bisa dilakukan untuk berbagai skala volume, dan sangat sesuai terutama bila volumenya dalam skala yang kecil. Ketersediaan jelantah juga relatif terjaga karena pada saat ini, produksi maupun konsumsi minyak goreng di Indonesia terus meningkat (Hutomo, 2013).

Jelantah merupakan salah satu pilihan yang menarik untuk digunakan sebagai bahan bakar karena memiliki beberapa keunggulan antara lain kandungan energi yang dimiliki cukup besar, sehingga dengan bobot atau volume yang tidak besar terdapat potensi kalor yang cukup tinggi, kondisinya relatif masih dalam fase cair sehingga pengaturan dalam operasional pembakaran relatif mudah, tidak gampang meledak sehingga aman dan penyimpanan persediaannya tidak membutuhkan prosedur ataupun persyaratan khusus (Hutomo, 2013).

Minyak jelantah merupakan bahan alternatif yang dapat menggantikan kerosin sebagai bahan bakar kompor rumah tangga, karena memiliki nilai kalor per satuan volumenya hanya 5% dibawah harga nilai kalor yang dimiliki kerosin. Titik didih minyak jelantah adalah pada suhu 175°C, sehingga untuk merubah fasanya menjadi uap, diperlukan temperatur yang lebih tinggi dari titik didihnya

(Fassenden, 1986). Sedangkan titik nyala minyak jelantah terjadi pada suhu 314°C , viskositas kinematik sebesar $88,6 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ dan nilai kalor bruto sebesar $39,54 \text{ MJ/kg}$ (Baumann, 1998). Titik flash dari uap minyak jelantah berkisar $180 - 300^{\circ}\text{C}$, sedangkan titik flash dari uap kerosin berkisar $55-80^{\circ}\text{C}$ dan viskositas minyak jelantah 30 kali lebih tinggi dibandingkan kerosin. Oleh karena itu, pada pemanfaatan minyak jelantah sebagai bahan bakar kompor perlu dicampur dengan kerosin.

Kerosin berfungsi sebagai *starter*, yang membantu meningkatkan waktu penyalaan minyak jelantah. Dalam penggunaannya, penyaringan awal perlu dilakukan sebagai dasar pertimbangan dalam pencampuran minyak jelantah dan kerosin, sebagai contoh 80 - 95% minyak jelantah dan 5 - 20% kerosin atau 100% langsung minyak jelantah.

2.2. Pembakaran

Pembakaran bisa didefinisikan sebagai reaksi secara kimiawi yang berlangsung dengan cepat antara oksigen dengan unsur yang mudah terbakar dari bahan bakar pada suhu dan tekanan tertentu (Yeliana, et.al, 2004). Di dalam bahan bakar secara umum hanya terdapat tiga unsur yang penting yaitu karbon, hidrogen dan belerang.

Menurut RB Ajie (2015), terdapat bermacam-macam jenis pembakaran, yaitu:

a. Pembakaran Sempurna

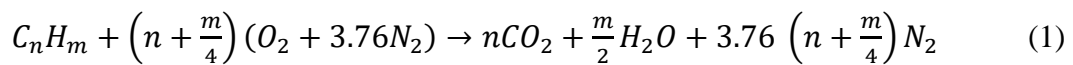
Pada pembakaran sempurna, reaktan akan terbakar dengan oksigen, menghasilkan sejumlah produk yang terbatas. Ketika hidrokarbon yang terbakar dengan oksigen, maka hanya akan dihasilkan gas karbon dioksida dan uap air. Namun kadang kala akan dihasilkan senyawa nitrogen dioksida yang merupakan hasil teroksidasinya senyawa nitrogen di dalam udara. Pembakaran sempurna hampir tidak mungkin tercapai pada kehidupan nyata.

b. Pembakaran Tidak Sempurna

Pembakaran tidak sempurna umumnya terjadi ketika tidak tersedianya oksigen dalam jumlah yang cukup untuk membakar bahan bakar sehingga dihasilkannya karbon dioksida dan air. Pembakaran yang tidak sempurna

menghasilkan zat-zat seperti karbon dioksida, karbon monoksida, uap air dan karbon. Pembakaran yang tidak sempurna sangat sering terjadi, walaupun tidak diinginkan, karena karbon monoksida merupakan zat yang sangat berbahaya bagi manusia. Kualitas pembakaran dapat ditingkatkan dengan perancangan media pembakaran yang lebih baik dan optimisasi proses.

Persamaan reaksi pembakaran teoritis antara hidrokarbon dengan udara, menurut John B Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, p.69 adalah sebagai berikut:



Persamaan (1) menyatakan perbandingan stokiometris dari udara-bahan bakar yang tersedia cukup oksigen untuk mengubah seluruh bahan bakar menjadi produk yang bereaksi sempurna AFR stoikometris tergantung komposisi kimia bahan bakar.

2.3. *Burner Bahan Bakar Cair*

Menurut Djokosetyardjo (1989), didalam pembakaran dari bahan bakar cair, diperlukan suatu proses penguapan atau proses atomisasi bahan bakar. Hal ini diperlukan untuk mendapatkan percampuran yang baik dengan udara pembakaran. Minyak bakar distilat bisa terbakar dengan api yang biru jika secara sempurna bahan bakar ini diuapkan dan tercampur merata (*homogenous*) dengan udara sebelum terbakar. *Burner* yang digunakan untuk membakar bahan bakar dalam bentuk uap atau bentuk atom-atom (*spray-droplet*) sebelum terbakar berbeda konstruksi dasarnya, yaitu *vaporizing burner* dan *atomizing burner*.

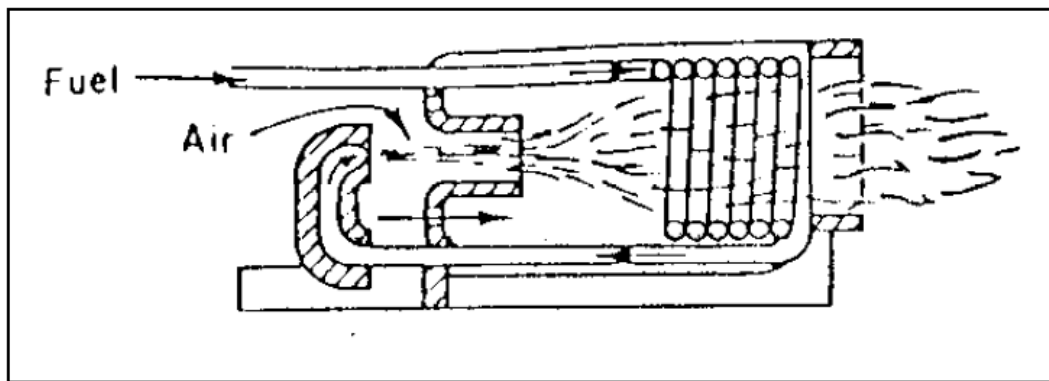
Menuru P.K.Nag (2002), jenis – jenis *burner* bahan bakar cair antara lain:

a. *Vaporizing Burner*

Burner jenis ini menggunakan panas dari api untuk menguapkan bahan bakar secara terus menerus. Prinsip penguapan ini dipakai pada kompor lidah api (*blow torch*) terlihat pada Gambar 2, kompor tipe pot, lampu minyak tanah dan lain-lain.

Cara kerja kompor lidah api tersebut adalah dengan memanaskan minyak bakar yang dialirkan ke koil pipa pemanas. Panas didapat dari radiasi lidah api yang diselubungi oleh koil. Uap bahan bakar yang terbentuk kemudian disemprotkan oleh *nozzle* dengan tekanan yang sama dengan tekanan minyak cair.

Setelah keluar dari *nozzle*, uap bahan bakar akan bercampur dengan udara dan terbakar membentuk lidah api (*flame*). Lidah api akan berwarna kuning, dan apabila suhu uap bahan bakar terlalu tinggi maka akan terbentuk nyala api biru yang mempunyai sifat tidak stabil.



Gambar 2. Kompor Lidah Api (*Blow Torch*)

(sumber: Tjokrowisastro dan Widodo, *Teknik Pembakaran Dasar dan Bahan Bakar*, 1990)

Vaporizing burner dibuat dengan kapasitas 30-40 l/jam dengan tekanan bahan bakar 0,5-3,5 kg/cm². Bahan bakar yang digunakan adalah minyak tanah (*kerosine*), naphta, bensin dan lain-lain.

b. *Atomizing oil Burner*

Pada *atomizing oil burner* bahan bakar diatomisasikan dalam bentuk *spray droplet* dengan tekanan 7-20 kg/cm² atau diatomisasi oleh udara/uap dengan tekanan 0,1-15 kg/cm². Udara pembakaran dimasukkan ke dalam tungku bersama-sama dengan bahan bakar.

Suatu peralatan yang berbentuk *vane* atau sekat biasanya dipasang untuk memperoleh percampuran yang lebih baik antara bahan bakar dan udara. Untuk menghindari adanya lidah api yang menumbuk pada dinding tungku maupun komponen lainnya perlu diperhatikan juga mengenai

peralatan pemasukan udara, bentuk semprotan dan lain-lain. Apabila terdapat lidah api yang menumbuk, maka akan menyebabkan adanya jelaga atau *deposite* karbon keras dan atau gerusan pada dinding tungku bakar. Untuk membuat nyala api stabil, kecuali untuk tungku bakar kecil, semprotan bahan bakar minyak dan udara biasanya dimasukkan kedalam tungku bakar dengan melalui suatu penyalu. Volume ruang bakar/tungku bakar harus disesuaikan untuk menyediakan waktu bagi kesempurnaan pembakaran. Kecepatan pembebasan panas dari peralatan pembakaran ini tergantung pada sifat bahan bakar, konsentrasi udara lebih, udara bahan bakar dan tingkat asap yang diijinkan.

Dari cara atomisasinya maka *atomizing oil burner* dapat dibedakan menjadi 4 jenis.

1. *Steam air atomizing burner*
2. *Mechanical/oil pressure atomizing burner*
3. *Centrifuging /rotary cup atomizing burner*
4. *High-intensitas burner.*

2.4. Metode *Preheating Fuel*

Metode *preheating fuel* adalah metode pemanasan awal bahan bakar yang akan digunakan. Pemanasan ini akan menaikkan temperatur bahan bakar, bahkan ada beberapa yang berubah fasa menjadi uap. Kenaikan temperatur bahan bakar akan memudahkan penyalu api atau menyebabkan bahan bakar lebih mudah terbakar (Hery Widhiarto 2013).

Menurut Herwindo (2011), ada beberapa tipe *preheating fuel* yaitu pipa kapiler yang digunakan sebagai tempat mengalirnya bahan bakar dikontakkan dengan api yang ada pada *burner*. Pemanasan ini menggunakan media radiasi dari api pembakaran untuk memanaskan pipa bahan bakar. Pipa kapiler bahan bakar akan melalui ruang pada *burner* sampai akan mengalami *droplet*, disaat ini api pembakaran akan memanaskan pipa kapiler yang melewati ruang *burner* sehingga bahan bakar yang melalui pipa kapiler akan mengalami kenaikan temperatur. Tipe *preheating fuel* lainnya yaitu pipa kapiler yang digunakan sebagai tempat mengalirnya bahan bakar dikontakkan dengan dinding *burner*. Panas pembakaran

akan menghasilkan *heat loss* yang akan merambat ke dinding *burner*. *Heat loss* pada dinding *burner* digunakan sebagai tempat perambatan panas dengan pipa kapiler bahan bakar (konduksi) dan bahan bakar yang melalui pipa kapiler akan mengalami kenaikan temperatur akibat panasnya dinding pipa kapiler.

2.5. Metode Atomisasi Bahan Bakar

Proses pembuatan butiran cairan di dalam fase gas disebut dengan atomisasi. Tujuan atomisasi adalah meningkatkan luas permukaan cairan dengan cara memecahkan butiran cairan menjadi banyak butiran kecil. Proses atomisasi dimulai dengan mendorong cairan melalui sebuah *nozzle* (Mada Hunter Pardede, 2012).

Energi potensial cairan (diukur sebagai tekanan cairan untuk *nozzel* hidrolis atau tekanan udara dan cairan untuk *nozzel* pneumatik) dengan bantuan *geometri nozzle* menyebabkan cairan diubah menjadi bongkahan-bongkahan kecil. Bongkahan ini selanjutnya pecah menjadi pecahan yang sangat kecil yang biasanya disebut dengan butir (*drop*), butiran (*droplet*), atau partikel cairan.

Setiap semburan (*spray*) menghasilkan suatu rentang besar butir, rentang ini dinyatakan sebagai distribusi besar butir (*drop size distribution*). Distribusi besar butiran ini tergantung pada jenis *nozzel* dan sangat bervariasi untuk setiap jenisnya. Faktor-faktor lain yang mempengaruhi besar butir adalah sifat-sifat fisik cairan, dan kondisi operasi.

Ada berbagai faktor yang mempengaruhi ukuran dari butiran (*droplet*). Diantara faktor-faktor tersebut adalah sifat-sifat cairan, seperti tegangan permukaan, viskositas, dan kerapatan.

Menurut Mada Hunter Pardede (2012), mekanisme atomisasi dilihat dari *fluida* kerja dapat dibagi atas atomisasi hidrolis dan pneumatik. Macam – macam mekanisme atomisasi antara lain:

a. Atomisasi hidrolis

Pada atomisasi hidrolis, atomisasi terjadi karena tekanan cairan atau gaya gravitasi pada cairan yang keluar pada mulut *nozzel* dan pecah pada waktu jet berbentuk lembaran.

b. Atomisasi pneumatik

Pada atomisasi pneumatik, atomisasi terjadi sebagai akibat saling aksi antara cairan dengan udara yang berkecepatan tinggi. Gaya gesek antara cairan dengan udara menyebabkan terdisintegrasinya cairan menjadi butiran. Jika ditinjau proses pencampuran dengan udara dengan cairan, *nozzle* pneumatik dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu jenis pencampuran dalam dan pencampuran luar.

2.6. Air Fuel Ratio (AFR)

Air Fuel Ratio (AFR) merupakan perbandingan massa udara yang ada selama proses pembakaran (Pipercomex, 2013). Ketika semua bahan bakar bergabung dengan udara bebas, campuran tersebut berdasarkan reaksi kimia setimbang dan perbandingan AFR ini disebut dengan campuran stoikiometrik. Dalam proses pembakaran hal yang sering diperhatikan adalah jumlah udara dan bahan bakar. Rasio massa udara dengan massa bahan bakar tersebut biasa disebut dengan *air fuel ratio* (AFR) menurut John B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, p.53, ditunjukkan pada Persamaan 2.

$$AFR = \frac{m_a}{m_f} \quad (2)$$

Dimana: m_a = laju alir massa udara

m_f = laju alir massa bahan bakar

Relative Air/Fuel Ratio ini memberikan parameter informasi yang lebih guna menetapkan komposisi campuran udara-bahan bakar yang baik. Jika:

$\lambda > 1$: maka campuran itu miskin

$\lambda < 1$: maka campuran itu kaya

Lambda (λ) dapat digunakan sebagai suatu alternatif untuk mewakili AFR. *Lambda* (λ) merupakan ukuran untuk mengetahui seberapa besar stoikiometri tersebut berperan dalam campuran. Suatu campuran dikatakan campuran kaya bahan bakar, bila *lamda* (λ) > 1 , sedangkan campuran dikatakan kurus bahan bakar bila $\lambda < 1$. Sementara itu, campuran dikatakan ideal atau sesuai dengan stoikiometri bila $\lambda \approx 1$ (Kenneth, 2005).

Jika jumlah lamda sama dengan 1 maka dikatakan setimbang, jika kurang dari 1 disebut campuran kental dan jika lebih besar dari 1 disebut campuran miskin. Hubungan langsung antara lambda (λ) dan stoikiometrik dapat dihitung melalui harga *lambda* (λ) yang telah diketahui, perkalian *lambda* (λ) hasil pengukuran terhadap AFR stoikiometrik untuk bahan bakar yang dimaksud. Untuk memperoleh harga *lamda* (λ) dari nilai (F/A), dapat dihitung melalui pembagian F/A terhadap AFR stoikiometri. Biasanya *lamda* untuk bahan bakar biomassa sekitar 1,4 – 1,6. Persamaan reaksi AFR menurut John B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, p.71, dapat ditulis pada Persamaan 3.

$$\lambda = \frac{F/A}{F/A_{stoikiometri}} \quad (3)$$

Dimana: F = jumlah bahan bakar (kg)
A = Udara pembakaran (kg)

Jika oksigen yang dibutuhkan tercukupi, bahan bakar hidrokarbon dapat dioksidasi secara sempurna. Karbon didalam bahan bakar kemudian berubah menjadi karbon dioksida CO₂ dan hidrogen berubah menjadi uap air H₂O. Jika jumlah udara yang diberikan kurang dari yang dibutuhkan secara stoikiometri maka akan terjadi campuran kaya akan bahan bakar. Produk dari campuran kaya akan bahan bakar adalah CO, CO₂, H₂O, dan HC (Hidrokarbon tidak terbakar). Jika jumlah udara yang diberikan lebih besar dari kebutuhan maka akan terjadi campuran miskin bahan bakar. (Kenneth, 2005)

2.7. Water Boiling Test (WBT)

Teknik pengambilan data dengan WBT cukup singkat, simulasi sederhana dari pemanasan air pada umumnya. Dengan metode WBT dapat mengukur konsumsi bahan bakar pada suatu tangki pembakaran dan menunjukkan prediksi kegunaan bahan bakar secara kasar untuk berbagai keperluan pembakaran dengan penentuan efisiensi termal maksimum dan minimum. Metode WBT digunakan untuk mengukur beberapa aspek dari tangki yang berkaitan dengan kemampuan tungku untuk memelihara bahan bakar. Metode WBT dirancang cukup baik untuk

mengukur efisiensi termal, laju pembakaran, konsumsi spesifik bahan bakar dan kemampuan pembakaran (Prajogo, 2011).

Tahapan pengujian water boiling test yaitu dengan pemanasan air dilakukan selama 30 menit. Volume air yang digunakan sama sebesar $\frac{2}{3}$ dari kapasitas total tangki. Uap air yang terbangun ke udara selama proses pemanasan dan konsumsi bahan bakar selama proses berlangsung. Massa air setelah pemanasan ditimbang dengan menggunakan timbangan. Selisih antara massa air sebelum pemanasan dengan massa air sesudah pemanasan adalah massa uap air yang terbangun ke udara. Sehingga diperoleh nilai kalor yang diterima oleh air serta efisiensi termal pada masing-masing tangki (Prajogo, 2011).

2.8. Karakteristik Nyala Api

Menurut Prezi (2014), karakteristik nyala api dibedakan berdasarkan warna api yang dihasilkan, antara lain:

a. Api Berwarna Merah

Api berwarna merah/kuning ini biasanya bersuhu dibawah 1.000°C . Api jenis ini termasuk api yang "kurang panas" dikarenakan jarang atau kurang sering digunakan di pabrik-pabrik industri baja/material. Kalau pada matahari, api ini berada pada bagian paling luarnya, yaitu bagian yang paling dingin.

b. Api Berwarna Biru

Api berwarna biru merupakan api yang mungkin sering kita jumpai di dapur. Biasanya api ini sering kita lihat di kompor gas. Rata-rata suhu api yang berwarna biru kurang dari 2.000°C . Api ini berbahan bakar gas dan mengalami pembakaran sempurna. Jadi tingkatan api biru diatas merah.

c. Api Berwarna Putih

Ini merupakan api paling panas yang ada di bumi. Warna putihnya itu dikarenakan suhunya melebihi 2.000°C . Api inilah yang berada di dalam inti matahari, dan muncul akibat reaksi fusi oleh matahari. Api ini paling banyak digunakan di pabrik-pabrik yang memproduksi material besi dan sejenisnya.

d. Api Berwarna Hitam

Api hitam itu bisa saja disimulasikan saat melihat nyala api lilin atau kompor bunsen dengan seksama yang terlihat pada pangkal sumbu.